

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
MIGUEL BENTO AMORIM NETO
SERGIO RICARDO DOS SANTOS JUNIOR**

**MOTOR TRÊS CILINDROS: o impacto na
performance dos motores 1.0**

**Taubaté - SP
2018**

**MIGUEL BENTO AMORIM NETO
SERGIO RICARDO DOS SANTOS JUNIOR**

**MOTOR TRÊS CILINDROS: o impacto na
performance dos motores 1.0**

Trabalho de Graduação apresentado para
obtenção do Certificado de Graduação do
curso de Engenharia Mecânica do
Departamento de Engenharia Mecânica
da Universidade de Taubaté.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Silva de
Araújo Porto

**Taubaté – SP
2018**

SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU

A524m Amorim Neto, Miguel Bento
Motor três cilindros: o impacto na performance dos motores 1.0 / Miguel Bento Amorim Neto; Sérgio Ricardo dos Santos Junior. -- 2018.
34 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Fernando Silva de Araújo Porto, Departamento de Engenharia Mecânica.

1. 1000 Cilindradas. 2. Motor de combustão interna. 3. Três cilindros.
I. Título. II. Santos Junior, Sérgio Ricardo dos. III. Graduação em Engenharia Mecânica.

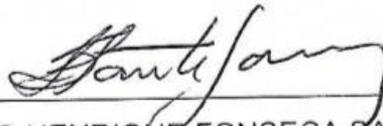
CDD – 621.4023

**MIGUEL BENTO AMORIM NETO
SERGIO RICARDO DOS SANTOS JUNIOR**

MOTOR TRÊS CILINDROS: o impacto na performance dos motores 1.0

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO APROVADO COMO PARTE
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE "GRADUADO EM
ENGENHARIA MECANICA"

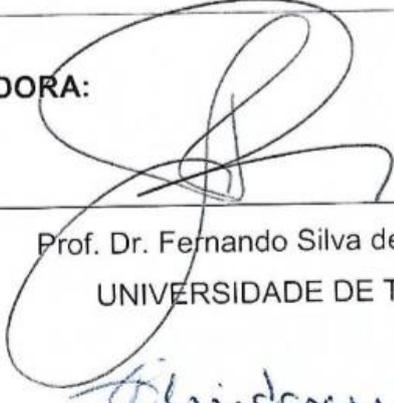
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO COORDENADOR DE CURSO DE
GRADUAÇÃO DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



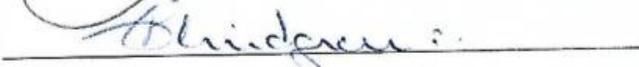
Prof. Me. FÁBIO HENRIQUE FONSECA SANTEJANI

Coordenador de Trabalho de Graduação

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Fernando Silva de Araújo Porto
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



Prof. Msc. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Dedico este trabalho aos meus pais, Marly e José Miguel.

Dedico este trabalho aos meus pais, Silvana e Sérgio Ricardo.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, fonte da vida e da graça. Agradeço pela minha vida, minha inteligência, minha família e meus amigos.

À Universidade de Taubaté – UNITAU, que ofereceu um excelente ambiente educacional com profissionais qualificados

Ao meu orientador, *Prof. Dr. Fernando Silva de Araújo Porto*, por todo o incentivo e motivação na orientação deste trabalho.

Aos meus pais, José Miguel e Marly que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram meus estudos.

À Professora Msc. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren por aceitar compor a banca examinadora.

Às funcionárias da Secretaria pela dedicação, presteza e principalmente pela vontade de ajudar.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, fonte da vida e da graça. Agradeço pela minha vida, minha inteligência, minha família e meus amigos.

À Universidade de Taubaté – UNITAU, que ofereceu um excelente ambiente educacional com profissionais qualificados

Ao meu orientador, *Prof. Dr. Fernando Silva de Araújo Porto*, por todo o incentivo e motivação na orientação deste trabalho.

Aos meus pais, Sérgio e Silvana que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram meus estudos.

À Professora Msc. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren por aceitar compor a banca examinadora.

Às funcionárias da Secretaria pela dedicação, presteza e principalmente pela vontade de ajudar.

“Mesmo desacreditado e ignorado por todos, não
posso desistir, pois para mim, vencer é nunca
desistir.”
(ALBERT EINSTEIN)

RESUMO

Com a crescente competitividade no ramo automobilístico e a necessidades das montadoras de estarem sempre à frente de suas concorrentes, começam a investir em tecnologias para aumentar a performance de seus motores, principalmente os da família três cilindros, os quais apresentam vantagens e desvantagens em relação ao seu antecessor de quatro cilindros. Nesse trabalho serão apresentadas essas vantagens e desvantagens, porém será focado apenas nos motores 1.0 (1000 cilindradas ou 1 litro), mas antes, para melhor entendimento, serão introduzidos a física e o funcionamento de um motor de combustão interna de quatro cilindros, ciclo Otto, seus componentes, funcionamento do comando de válvula simples, o conceito de “bravo” e “manso” do comando de válvula variável (VTEC), e o que isso atribui ao motor e assim serão analisados as curvas de saída de potência de ambos motores, e os tempos entre explosão, as causas das vibrações e como reduzi-las. Com isso, percebe-se que a tendência é a substituição dos motores quatro cilindros pelos de três cilindros na linha 1.0 por gerarem menos atrito, serem econômicos, pequenos e leves, além disso, utilizando um sistema com comando de válvulas variável, o motor apresenta um melhor rendimento que seu antecessor, tornando-o otimizado para a cidade e quando precisar de potência, o comando fornece. Também será observado que as vibrações se originam pelas explosões distanciadas e podem ser reduzidas com o emprego de eixo balanceado no virabrequim, e coxins de qualidade.

Palavras-chave: Motor de combustão interna. Três cilindros. 1000 cilindradas.

ABSTRACT

With the high competitiveness in the automotive industry and the needs of automakers to be always ahead of their rivals they begin invest in technologies to increase the performance of their engines, especially those of the three-cylinder family, which have advantages and disadvantages in relation to your predecessor, four-cylinder. In this paper will be presented these advantages and disadvantages, but will be focused only on 1.0 (1000cc or 1liter) engines. Before this, for better understanding, will be analyzed, how the internal combustion engine and the Otto cycle works, the components of the engine, the operation of the simple valve control, the concept of "brave" and "meek" of the variable valve control (VTEC) and what it add to the engine. Also will be analyzed the power output curves of both engines, the times between combustion, the causes of vibrations and how to reduce them. With this, we can noticed that the tendency is the replacement of the four-cylinder engines for the three cylinder engines in line 1.0, because they generate less friction, are economical, small and light. In addition, with a variable valve control system, the engine show a better yield that making it optimized for the city and when it needs power the command provides to them. Also will be noted that the vibration came from the time between combustions and can be reduced by using a balanced axle and quality engine cushion.

KEYWORDS: Internal combustion engine. Three cylinders. 1000cc.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Representação do torque.....	17
Figura 2	Cabeçote.....	18
Figura 3	Bloco do motor.....	20
Figura 4	Sistema VTEC de comando de válvulas variável.....	22
Figura 5	Física do ciclo Otto.....	23
Figura 6	Representação dos quatro tempos de um motor.....	25
Figura 7	Curva saída de potência motor três cilindros.....	25
Figura 8	Curva saída de potência motor três cilindros.....	26
Figura 9	Curva de Potência.....	27
Figura 10	Curva Torque.....	28
Figura 11	Ficha Técnica.....	31
Figura 12	Ficha Técnica.....	31
Figura 13	Comparativo.....	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ECU	Unidade de Controle Eletrônica
MCI	Motor de Combustão Interna
OHC	Over Head Camshaft – eixo comando no cabeçote
OHV	Over Head Valve – válvulas são acionadas por varetas
PMS	Ponto Motor Superior
PMI	Ponto Motor Inferior
RPM	Rotação por minuto
VVT	Variable Valve Timing
VTEC	Variable Valve Timing and Lift Eletronic Control

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBEJTIVO	15
1.1.1	Objetivo Geral	15
1.1.2	Objetivo Específico	15
1.1.3	Delimitação do Estudo	15
1.1.4	Organização do Trabalho.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	INTRODUÇÃO AO MOTOR	16
2.2	CILINDRADA, TORQUE E POTÊNCIA.....	16
2.2.1	Cilindrada.....	16
2.2.2	Torque	17
2.2.3	Potência	17
2.3	PARTES DO MOTOR	18
2.3.1	Cabeçote.....	18
2.3.2	Bloco do Motor	19
2.3.3	Carter.....	20
2.3	COMANDO DE VÁLVULAS.....	21
2.3.1	Comando Simples.....	21
2.3.2	Comando Variável	21
2.4	FUNCIONAMENTO MOTOR (CICLO OTTO).....	22
2.4.1	Física do Ciclo Otto.....	22
2.4.2	Quatro Cilindros	24
2.4.3	Três Cilindros.....	26
2.4.3	Árvore de Balanceamento.....	28
3	METODOLOGIA	29
3.1	MÉTODOS DE PESQUISA	29
3.1.2	Classificação da Abordagem	29
3.1.2	Classificação dos Objetivos	29
3.1.3	Classificação pelos Procedimentos Técnicos	30
3.1.4	Classificação do Trabalho.....	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5	CONCLUSÃO	33
	REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, com o ramo automobilístico cada vez mais competitivo devido a globalização, montadoras tendem a se renovar frente à concorrência, buscando o aperfeiçoamento de seus motores utilizando novas tecnologias.

Para isso, a criatividade e inovação tecnológicas precisam estar constantemente presentes nesse ramo, uma vez que o objetivo seja melhorar a performance dos motores de combustão interna, principalmente os mais vendidos, os motores da linha 1.0 (1000 cilindradas ou 1 litro), os quais hoje, recebem o conceito de três cilindros.

Esse conceito não é nenhuma novidade, uma vez que décadas atrás estavam presentes por baixo dos capôs dos carros, como por exemplo, os DKW. Porém devido aos problemas que os mesmos apresentavam em seu funcionamento como a falta de sincronismos, excessivas vibrações o que resultava em uma baixa durabilidade, e somado aos limites de tecnologias e materiais da época para a solução desses problemas, esse motor foi retirado de linha. Hoje, esse motor voltou, renovado e repleto de comandos eletrônicos para substituir a linha quatro cilindro, mantendo a mesma capacidade volumétrica, menor consumo e emissão, além disso, é capaz de entregar uma potência similar ou superior. Entretanto, mesmo com as implementações das tecnologias tanto de materiais quanto eletrônicas no motor, ainda persiste o problema da vibração. Nesse trabalho será mostrado, além das vantagens e desvantagens em relação ao um motor de quatro cilindros de mesma cilindrada, como os engenheiros procuraram contornar esse problema. Antes disso, para facilitar o entendimento, será dada uma introdução, de maneira clara e direta, das principais partes que compõem um motor de combustão interna, assim como seu funcionamento, o processo termodinâmico do ciclo Otto, esclarecer o que é torque e potência de um motor, e por fim apresentar o que as tecnologias dos comandos de variável de válvulas proporcionam, e apontar as vantagens e desvantagens dessa linha.

1.1 OBEJTIVO

1.1.1 Objetivo Geral

Apresentar uma comparação entre motores de três e quatro cilindro, com foco na performance da linha 1.0.

1.1.2 Objetivo Específico

- Apresentar o que é um motor de combustão interno e seu funcionamento.
- Entender o conceito de cilindrada, torque e potência.
- Apresentar o conceito do comando variável de válvulas.
- Identificar em gráficos a entrega de poder de ambos motores.
- Apresentar um comparativo entre os motores, identificando as vantagens e desvantagens entre ambos.

1.1.3 Delimitação do Estudo

Esse trabalho foi desenvolvido como base de pesquisas em artigos e manuais de veículos, assim como, discussões com profissionais da área automobilística.

1.1.4 Organização do Trabalho

O trabalho está estruturado em capítulos e subcapítulos. No capítulo 1, são expostos a introdução do trabalho e os objetivos e a metodologia adotada.

O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre o motor de combustão interna.

No capítulo 3 explica a metodologia utilizada para a realização do trabalho.

O capítulo 4 apresenta as os resultados e discussões finais

No capítulo 5 apresenta as conclusões

Por fim, são apresentadas as referências utilizadas neste trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INTRODUÇÃO AO MOTOR

Grande maioria dos automóveis leves rodando pelas ruas trabalham com motores de combustão interna a gasolina quatro tempos, também conhecidos como ciclo Otto, o qual recebe esse nome em homenagem ao Dr. Nikolaus August Otto, quem desenvolveu os primeiros motores na década de 1860. Basicamente, esse motor de combustão interna é uma máquina que converte energia química de uma mistura ar-combustível em energia mecânica, necessária para mover o carro. Essa conversão advém da expansão dos gases resultantes de uma explosão em um processo chamado combustão. (BONNICK; NEWBOLD, 2011).

O processo ou fase de combustão acontece na própria câmara de combustão, a qual é formada pelo cilindro, selado pelo cabeçote e topo do pistão. No cabeçote pode haver duas ou quatro válvulas por cilindro, sendo estas para admissão e escape, e uma vela de ignição que fornece a faísca para inflamar a mistura.

Durante a expansão o pistão é empurrado para baixo, e devido ao sistema de mecanismo pistão e biela, conectado ao eixo de manivela, o movimento alternativo de translação transforma-se em movimento rotativo para o virabrequim e posteriormente, para as rodas, (BONNICK; NEWBOLD, 2011).

2.2 CILINDRADA, TORQUE E POTÊNCIA

2.2.1 Cilindrada

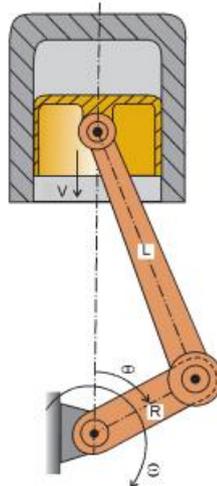
Segundo Carlos Tillmann (2013), cilindrada ou capacidade volumétrica é o volume total deslocado pelo pistão, do PMS ao PMI, multiplicado pelo número de cilindros que compõem o motor.

2.2.2 Torque

O torque é uma força que age em um objeto fazendo-o girar. Em um motor, essa força é chamada de força motriz e é gerada pela expansão dos gases ao explodir a mistura dentro da câmara, empurrando o pistão para o PMI. Dessa forma, a biela se desloca para baixo, convertendo uma força retilínea em rotativa (COSTA, Bíblia do Carro, 2001-2002).

Na Figura 1 pode-se notar o movimento descendente do pistão, causando um torque no centro do eixo de manivelas.

Figura 1 – Representação do torque



Fonte: MERIAN e KRAIGE, (2002). (Adaptado pelo autor)

2.2.3 Potência

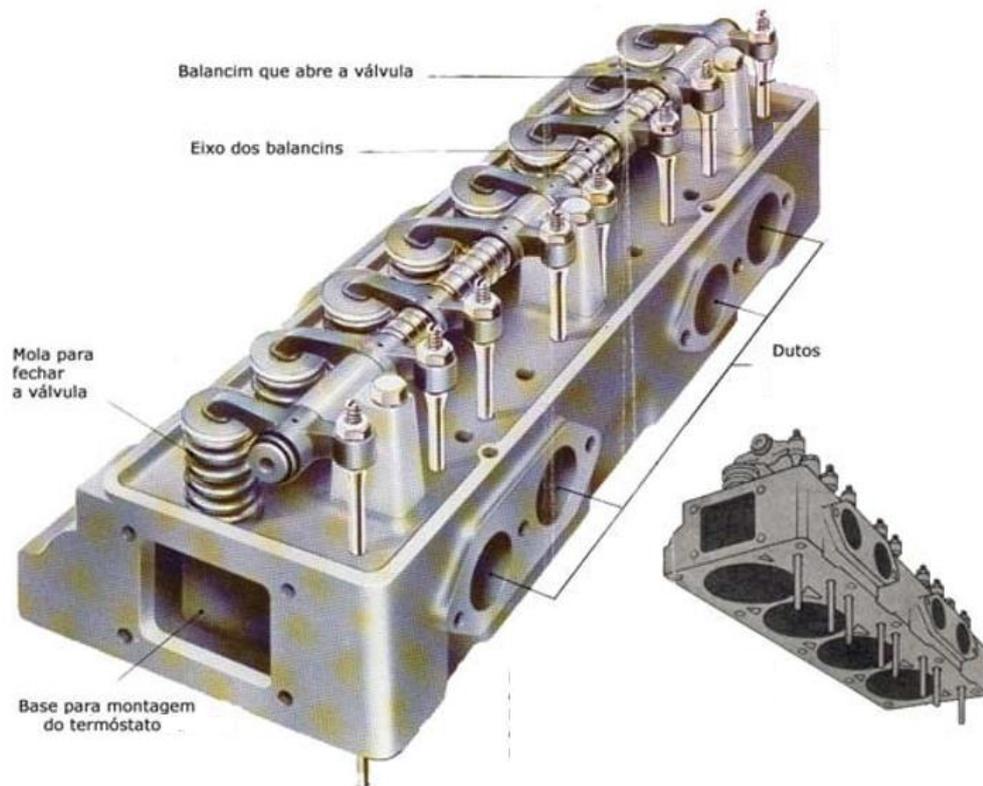
Conforme Tillmann (2009), entende-se que potência é quantidade de trabalho mecânico que um motor desenvolve em um dado tempo, ou seja, é a quantidade de energia que o motor fornece em uma unidade de tempo.

2.3 PARTES DO MOTOR

2.3.1 Cabeçote

Segundo Costa (2001-2002), o cabeçote é a parte superior do motor e pode ser fabricado em ferro fundido ou em liga de alumínio. Em sua parte superior, há mancais de apoio para a árvore de cames, molas de retorno de abertura, retentores, tuchos e balancins, já em sua parte inferior apresenta furos que formam as câmaras de combustão, embora alguns motores tenham esta câmara nas cabeças dos pistões. Ao lado, dutos pelos quais a mistura gasosa é admitida nos cilindros, conforme Figura 2. Vale lembrar que no cabeçote se encontra a montagem do termostato, que regula a temperatura da água do sistema de arrefecimento.

Figura 2 - Cabeçote



Fonte: Costa, (2001-2002). (Adaptado pelo autor)

Para assegurar essa vedação entre o cabeçote e o bloco, é instalada uma junta, denominada junta do cabeçote, a qual também assegura o seguimento dos circuitos de água de refrigeração do motor e dos circuitos de passagem do óleo lubrificante do motor.

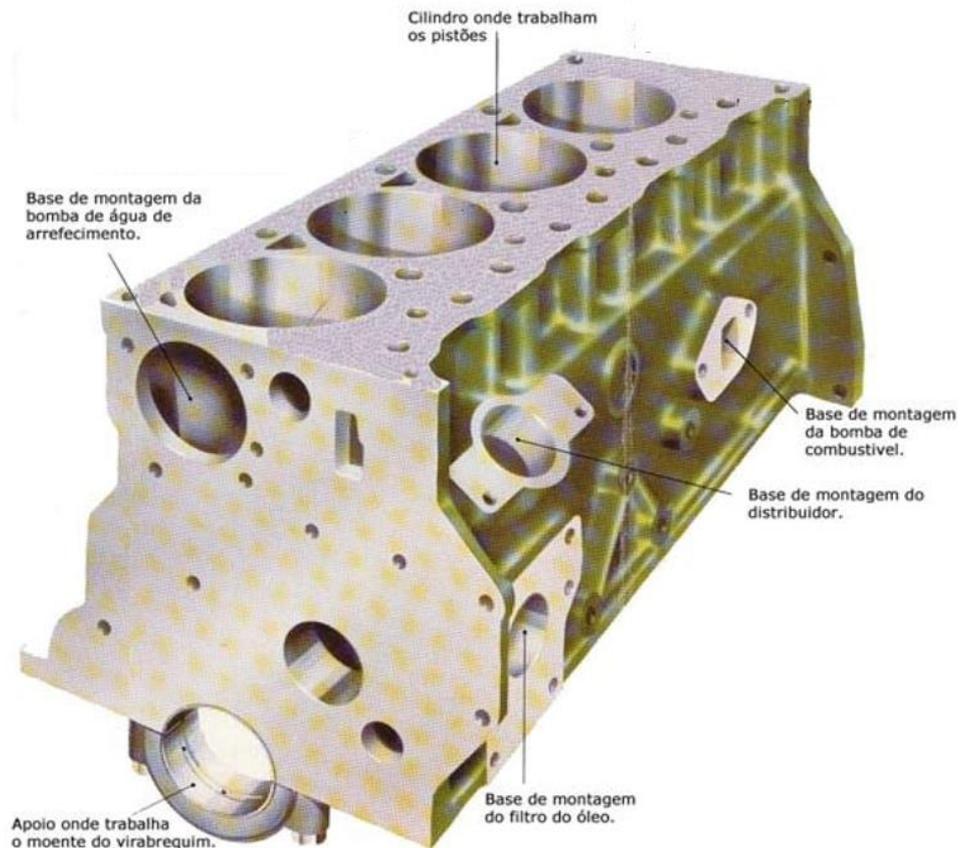
2.3.2 Bloco do Motor

De acordo com Costa (2001-2002), pode-se entender que o bloco do motor é o coração do motor e tem a função de acoplar junto ao cabeçote, formar a câmara de combustão. Normalmente são feitos de ferro fundido por ser um material econômico, fácil de operar em produção em série e apresentar grande resistência, porém alguns utilizam ligas de metais mais leves em sua composição, com o propósito de reduzir o peso e aumentar a dissipação calorífica, todavia, o custo é maior, além disso por serem macios, os cilindros devem receber revestimentos de ferro fundido para suportar aos atritos dos pistões.

Grande parte dos revestimentos são secos, sendo normalmente usinados após serem pressionados para garantir que as dimensões sejam obtidas corretamente, são utilizados como um ajuste de interferência no cilindro. Também à os revestimentos úmidos, os quais recebem esse nome porque a superfície externa da linha está em contato direto com o líquido de arrefecimento do motor. Este tem a desvantagem de ser necessário ter uma vedação extra para evitar vazamento de refrigerante no óleo lubrificante, porém tem a vantagem de fácil troca (BONNICK e NEWBOLD, 2011).

Segundo Costa (2001-2002), como é no bloco que ocorre a combustão, mais precisamente nas câmaras, sua temperatura será alta, e para evitar problemas com o motor é necessário que haja um resfriamento. Para isso, dentro do bloco há cavidades que são chamadas de galerias, por onde correm os fluídos aditivos de arrefecimento, a água do sistema de refrigeração e o óleo lubrificante do sistema, o qual lubrifica o motor. Essas galerias são isoladas do cilindro e não pode haver contato entre elas, ou seja, uma cavidade do sistema de arrefecimento não pode se juntar a uma cavidade do sistema de lubrificação, e elas passam apenas em volta do bloco.

Também estão presentes no bloco do motor, a bomba d'água e a bomba de óleo, responsáveis pela circulação destes dos fluídos nos seus respectivos sistemas, o filtro do óleo, a bomba de combustível, o distribuidor e na parte inferior, o apoio para o moente do eixo de manivela, conforme Figura 3.

Figura 3 - Bloco do motor

Fonte: Costa, (2001-2002). (Adaptado pelo autor)

2.3.3 Carter

Segundo Castro (2014), o cárter é dividido em duas partes. A parte superior fica no bloco e pode ser fabricado em ferro fundido ou alumínio, com ou sem insertos em ferro fundido. Já o cárter inferior, normalmente fabricado em chapa embutida ou alumínio, é o local onde fica depositado o óleo. Quando feito de alumínio, tem a facilidade de manter o óleo resfriado devido a facilidade de troca de calor, porém é frágil a impactos.

2.3 COMANDO DE VÁLVULAS

2.3.1 Comando Simples

Conforme Costa (2001-2002), o eixo de comando de válvulas, também chamado de árvore de cames ou apenas eixo de cames, tem a finalidade de abrir as válvulas para uma boa admissão e completa expulsão dos gases. Esse abrimento é realizado pela pressão que os excêntricos, dispostos pelo corpo das árvores, realiza sobre os balancins que por sua vez, acionam a abertura da válvula. O eixo de comando trabalha sincronizado com o eixo de manivelas (virabrequim) numa relação de 2:1, ou seja, enquanto o virabrequim das duas voltas, a árvore de cames deu uma. A ligação pode ser por correias, correntes ou hastes. Veículos antigos utilizavam motor OHV (*overhead*), mas atualmente utiliza-se os Motor OHC (*overhead camshaft*) de comando variável.

2.3.2 Comando Variável

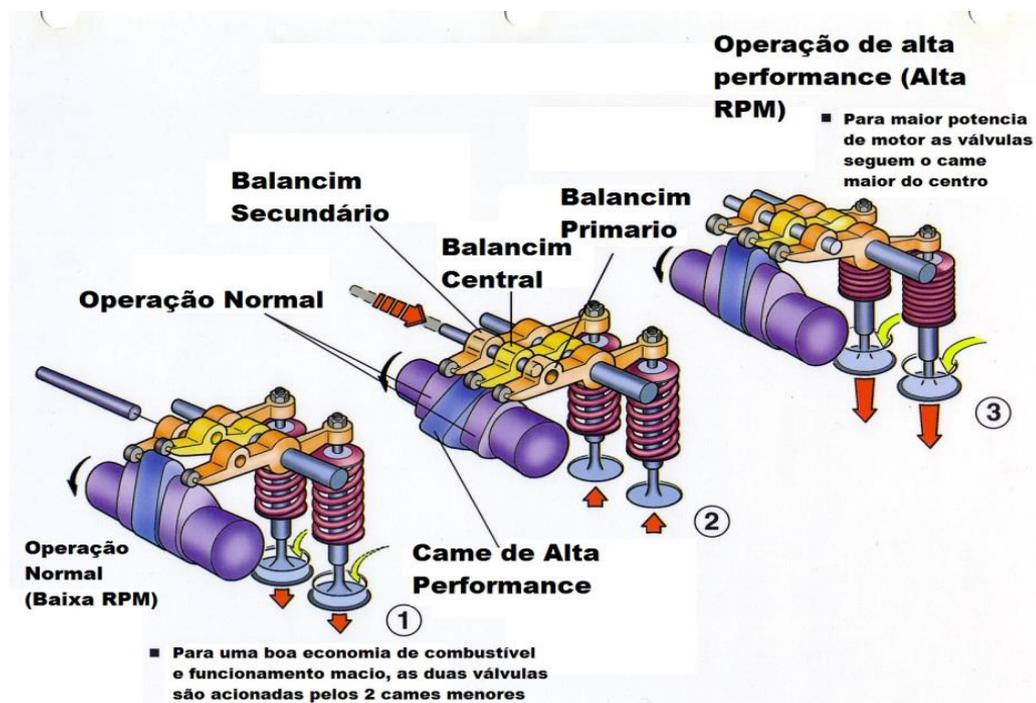
No final dos anos 1980 a Honda desenvolveu um sistema interessante que mudaria as performances dos automóveis conforme rodava nas estradas. Esse sistema possibilita controlar o tempo e curso de abertura das válvulas de acordo com as necessidades, podendo assim obter não só potência, mas também estabilidade em baixa velocidade com desempenho de alta velocidade, sem dizer de uma economia no consumo (GENTA; MORELLO; CAVALLINO; FILTRI, 2014)

O sistema funciona com dois excêntricos atuando em cada válvula, ao invés de um, sendo que um trabalha para eficiência (RPM x Combustível), e outra para desempenho e potência em elevadas RPM. O ressaltado para eficiência, conhecido pelos mecânicos de “manso”, são menores e trabalham para que as válvulas abram menos e fiquem abertas por um período menor, assim reduzindo a entrada de mistura ar-combustível na câmara. Já os para desempenho e potência, “bravo”, são maiores e permitem uma maior abertura e por maior tempo (HOFFMANN, 2017).

A inversão dos ressaltos manso e bravo é controlada pelo Unidade de Controle Eletrônica (ECU) a qual coleta todos os dados do motor, como posição do regulador

de pressão, pressão de óleo, temperatura e velocidade do motor, velocidade do veículo e reconhece como entrada. O ECU, que já está programado para inverter os excêntricos de baixa rotação para o de alta, lê essas informações recebidas e no momento apropriado aciona um solenoide. Esse solenoide, por sua vez, permite que a pressão de óleo numa válvula carretel atue um pino hidráulico, o qual trava aos balancins externos, de baixa RPM, ao balancim intermediário, de alta RPM, ou retorne, caso contrário. A Figura 4, ilustra o acoplamento do pino aos balancins. (HOFFMANN, 2017).

Figura 4 - Sistema VTEC de comando de válvulas variável



Fonte: Mecânica Sem Segredo

2.4 FUNCIONAMENTO MOTOR (CICLO OTTO)

2.4.1 Física do Ciclo Otto

De acordo com Gomes (2018), a física do motor de combustão interna de ciclo Otto, é explicada como um processo termodinâmico, uma vez que ocorre uma transformação química-térmica-mecânica. A Figura 5 apresenta um gráfico Pressão (Y) x Volume (X) onde pode ser identificado cada processo.

No ponto 0, o pistão está na situação PMS e seu volume, pressão e temperatura são mínimos.

No estágio de 0 para A, o pistão está descendo para o PMI, tendo um aumento de volume devido à mistura sendo admitida. Aqui, a pressão e temperatura se mantêm constantes, pois a válvula está aberta.

No estágio de A para B, houve um processo adiabático, uma compressão adiabática, pois o pistão realizou trabalho sobre o gás, deslocando-o e comprimindo-o em uma velocidade tão grande fazendo com que a temperatura aumentasse sem haver tempo de troca de calor.

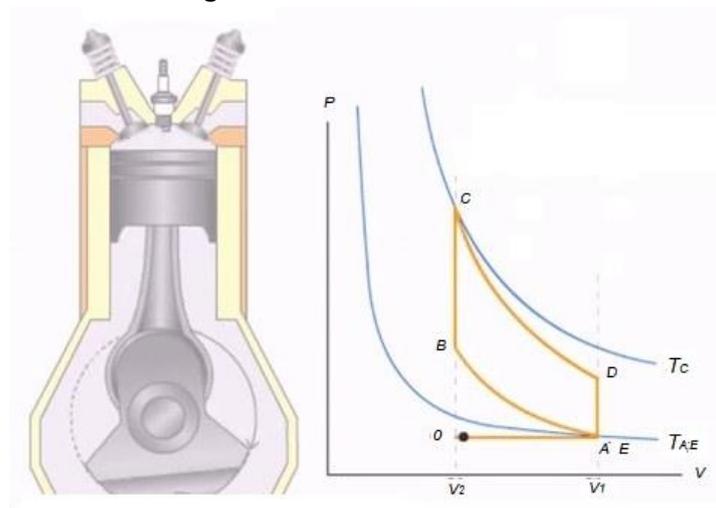
No ponto B para C, ocorre a centelha, inflamando a mistura comprimida aumento ainda mais a pressão e temperatura naquele volume comprimido. Nessa parte se tem um processo isovolumétrico.

De C para D ocorre outro processo adiabático, nesse caso uma expansão adiabática. Com a expansão rápida dos gases não há tempo de troca de calor.

No ponto D à E, o pistão já está novamente no PMI, assim, a válvula de escape se abre, aliviando a pressão e um pouco da temperatura presente na câmara. Essa é novamente um processo isovolumétrico.

Finalmente, do ponto E ao 0, o pistão sobe para PMS reduzindo o volume e expelindo os gases queimados.

Figura 5 – Física do ciclo Otto



Fonte: Integrando Conhecimento (2016)

2.4.2 Quatro Cilindros

Conforme mencionado anteriormente, a grande parte dos carros utiliza um motor Otto, o qual converte energia química em energia mecânica. Nesse processo o virabrequim precisa de duas voltas (720°) para que todos os pistões passem pelos quatro tempos, ou seja, cada fase leva meia volta do virabrequim (180°).

Conforme Bonnick e Newbold (2011), no primeiro tempo, também conhecido como Admissão, a válvula de admissão está aberta e a de exaustão permanece fechada, assim o pistão é puxado para baixo pela ação do volante do motor que transmite o movimento ao eixo de manivelas e conseqüentemente a biela e pistão, ou seja, ele puxa o pistão do ponto motor superior (PMS) para ponto motor inferior (PMI). Enquanto o pistão está descendo, cria-se um vácuo dentro do cilindro fazendo com que a pressão atmosférica pressione a mistura ar-combustível para dentro do cilindro.

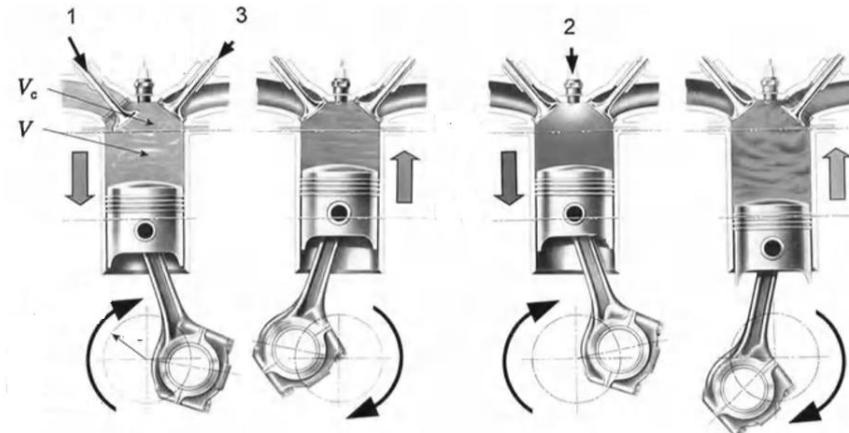
No segundo tempo (Compressão), tanto a válvula de admissão quanto a válvula de escape estão fechadas, como se estivessem selando a mistura dentro da câmara. O pistão, então, é empurrado para cima, comprimindo violentamente a mistura ar-combustível dentro do cilindro, pois, para se retirar a máxima energia do combustível é necessária uma grande pressão, (BONNICK; NEWBOLD, 2011).

Agora na posição de PMS, e com a mistura pressurizada, inicia-se o terceiro tempo. Com as válvulas fechadas e a mistura altamente pressurizada, a vela de ignição gera uma faísca, centelha, provocando uma explosão e logo um deslocamento de massa (gases). Essa expansão dos gases empurra o pistão de volta ao PMI finalizando o terceiro tempo (Combustão). De todos os quatro tempos do pistão, este é o principal, pois é o único que gera força motriz (torque), (BONNICK; NEWBOLD, 2011).

Segundo Bonnick e Newbold (2011), com o pistão no PMI e a mistura já queimada, agora a válvula de escape se abre e a válvula de admissão permanece fechada. A ação do virabrequim e biela empurra o pistão para o PMS, expelindo os gases queimados através da válvula, completando o ciclo. Esse denomina-se Escape.

A Figura 6 apresenta os quatro tempos dos cilindros do motor, conforme explicado.

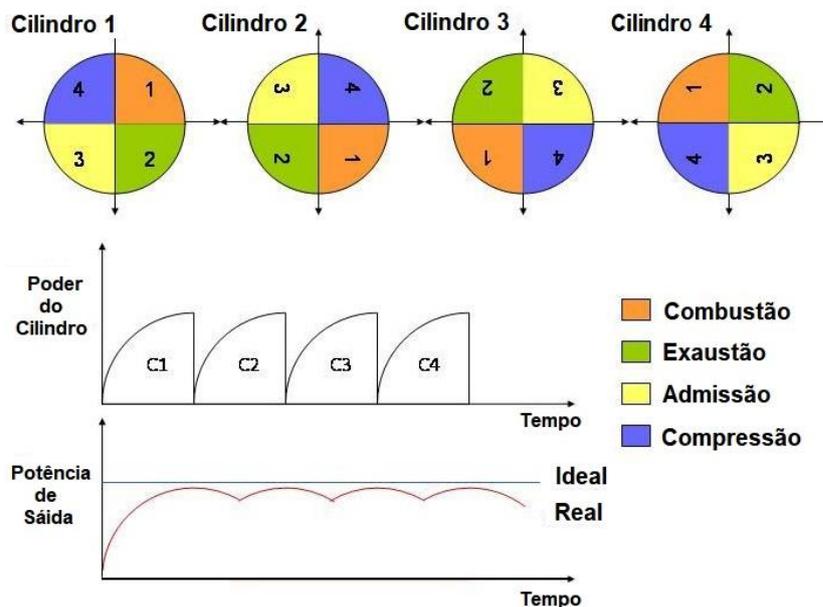
Figura 6 - Representação dos quatro tempos de um motor



Fonte: Livro The Motor Car (2014)

Pode-se dizer que o tempo de entrega de potência em um motor de quatro cilindros é boa, pois se a fase de combustão acontece a cada 180° e o tempo de trabalho de cada pistão também é de 180° , isso faz com que quando em uma câmara termine a fase de combustão, outra começa, gerando uma saída próxima da ideal, sem defasagem entre entregas, conforme na Figura 7.

Figura 7 - Curva saída de potência motor de quatro cilindros

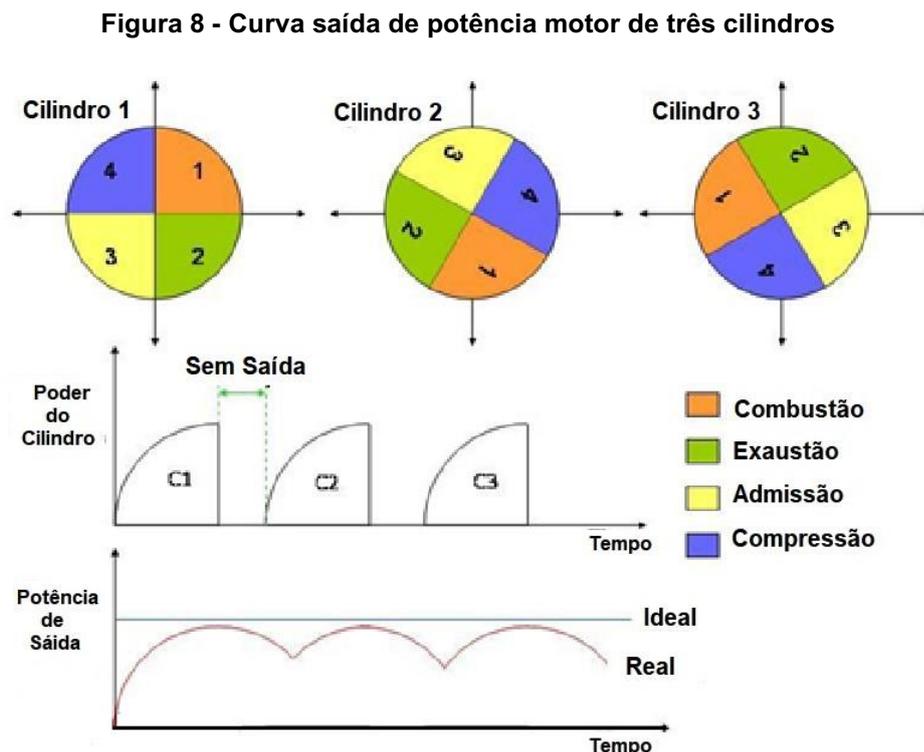


Fonte: Team-BHP (2009). (adaptado pelo autor)

2.4.3 Três Cilindros

No motor de três cilindros, para se completar um ciclo, também é necessárias duas voltas do eixo virabrequim (720°). Porém dividindo esse tempo pelo número de pistões, tem-se 240° entre o término de um pistão e o início de outro, em determinado tempo ou fase, mas essa combustão dura apenas 180° . Com isso, sobra um período de 60° em que o pistão não está entregando poder e durante esse tempo, o motor é impulsionado apenas pela inercia de movimento. Esse é um dos principais motivos da vibração do motor (SANTOS, 2017).

Pode-se observar essa defasagem na Figura 8, e como a reta de saída fica em relação à Ideal.



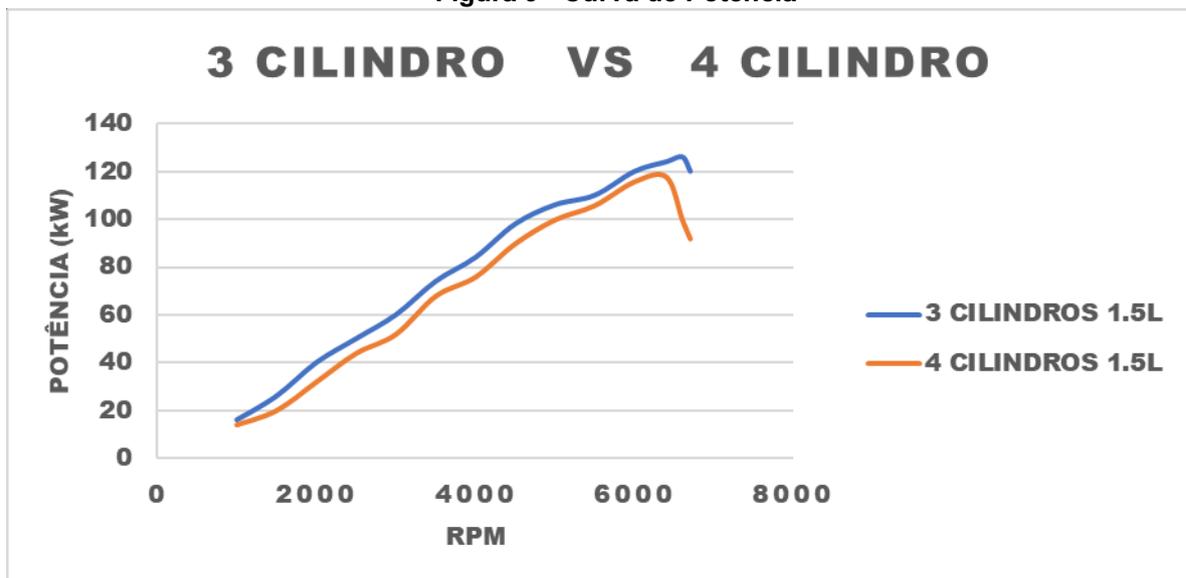
Fonte: Team-BHP (2009). (adaptado pelo autor)

Não é apenas as defasagens entre os tempos de explosões nas câmaras que resultam em vibrações, a má distribuição de massas também causam esse efeito, pois com um número ímpar de cilindro, a distribuição de massas e forças fica assimétrica, o que dificulta o seu balanceamento, (VAROTO, 2015).

Segundo Varoto (2015), uma das características que faz com que o motor seja um atrativo, é a economia de combustível. Essa se dá pela considerável redução de atrito. Em um motor convencional, 20% da potência gerada pela combustão é desperdiçada pelo atrito entre o pistão e camisa, e com um cilindro a menos, a energia que uma vez era dissipada por atrito nesse cilindro, é usada para mover o veículo.

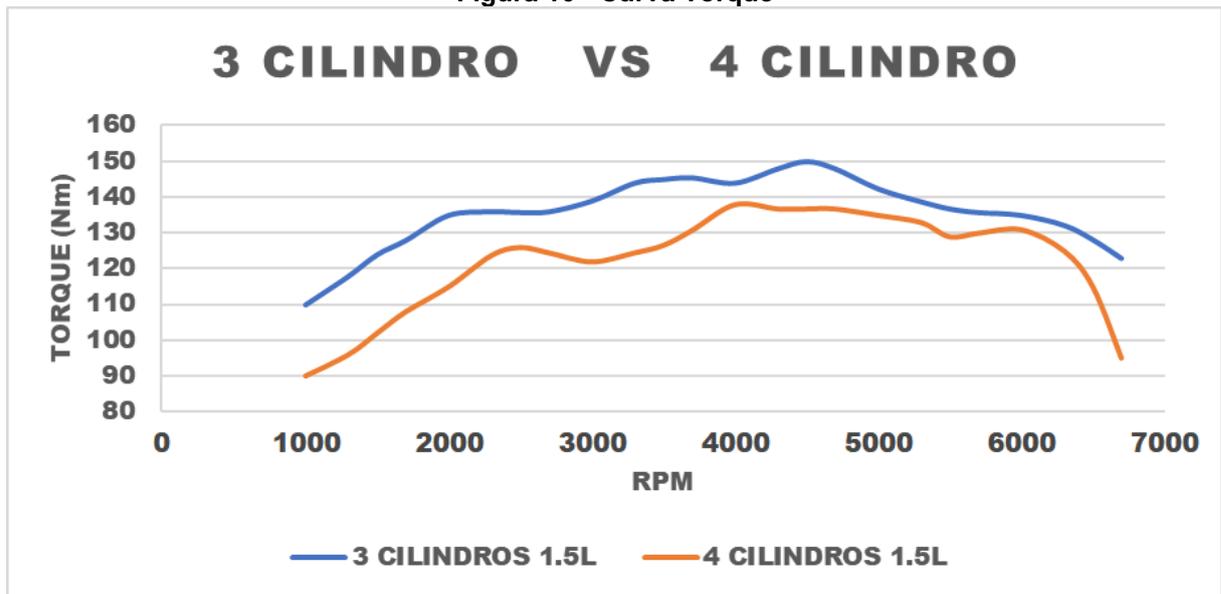
Também são reduzidas mais massas móveis do motor, o que faz com que o mesmo desenvolva menos inércia, além disso, por ter um cilindro a menos, ganha-se no quesito de menor geração de calor, implicando em uma menor dissipação de energia, o que resulta em um melhor torque em baixas rotações e boa resposta ao acelerar. As Figuras 9 e 10 apresentam as curvas de torque e potência de motores 3 e 4 cilindros.

Figura 9 - Curva de Potência



Fonte: Team-BHP. (Adaptado pelo autor)

Figura 10 - Curva Torque



Fonte: Team-BHP. (Adaptado pelo autor)

Conforme Varoto (2015), e observando as curvas de torque e potência, pode-se notar que o motor de três cilindros consegue obter um alto torque já em baixas rotações. Isso não se dá apenas por dissipar menos calor, devido ter um cilindro a menos, mas também por receber um comando variável de válvulas na admissão, o que também facilita a obtenção de potência. Pode-se observar também, que a curva de potência do motor três cilindros chega próximo a uma reta, sem muitas variações, conforme é aumentado a rotação, mostrando ser mais rápido que seu rival de quatro cilindros.

2.4.3 Árvore de Balanceamento

Segundo Samahá (2002), a árvore de balanceamento ou eixo balanceado, tem como função eliminar forças de inércia de segunda ordem que fazem com que o motor vibre. Esse eixo é acionado por engrenagens. Nele há pesos excêntricos de tamanho igual, os quais foram dimensionados e divididos em fases, de modo que a reação inercial à sua contra rotação cancela no plano horizontal, mas adiciona no plano vertical, dando uma força igual a 180° fora de fase com a vibração indesejada de segunda ordem do motor básico, cancelando-a. O conceito basicamente é ter um par de eixos balanceados girando em direções opostas, com o dobro de velocidade do motor.

3 METODOLOGIA

3.1 MÉTODOS DE PESQUISA

Pesquisar é seguir por um processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico com o objetivo de descobrir respostas para o problema apresentado. Uma pesquisa científica começa quando nos deparamos com pouca ou nenhuma informação para prosseguir com o concluir de um problema apresentado, então torna-se necessário, de forma organizada e analítica, fazer uma pesquisa buscando essas informações. (GIL, 1991).

Segundo Silva e Menezes (2005); a metodologia é como uma “receita de bolo”, a qual ajuda-nos a pensar e organizar a pesquisa, do início ao fim do trabalho.

3.1.2 Classificação da Abordagem

Depois de definido o problema a ser pesquisado, deve-se analisar a melhor abordagem para prosseguir com as próximas ações. De acordo com o tipo de problema, a abordagem de pesquisa poder ser classificada como quantitativa ou qualitativa, (GIL, 1991).

Consideramos a pesquisa como qualitativa onde há uma relação dinâmica entre o sujeito e o mundo real, e o próprio ambiente natural uma fonte direta para coleta de dados (SILVA; MENEZES, 2005).

Consideremos a pesquisa como quantitativa, quando os problemas apresentados possam ser mensuráveis, assim, utilizando de ferramentas técnicas de estatísticas e de qualidade, buscar soluções (SILVA; MENEZES, 2005).

3.1.2 Classificação dos Objetivos

De acordo com Gil (1991), dependendo do objetivo, uma pesquisa pode ser classificada como Pesquisa Exploratória, Pesquisa Descritiva e Pesquisa Explicativa.

Segundo Gil (1991), pesquisa exploratória visa criar uma familiaridade com o problema, possibilitando a construção de hipóteses por meio de levantamento bibliográfico, seja elas entrevistas com pessoas que tiveram experiência com o problema, ou análise. Esse tipo de pesquisa explora pesquisas bibliográficas e estudos de caso.

Segundo Gil (1991), pesquisa descritiva visa descrever o objetivo de estudo (população, fenômeno, variáveis), por meio de observação sistemática para coleta e levantamento de dados.

Pesquisa explicativa busca identificar e explicar a causa da ocorrência do problema, uma vez que explica a razão dos fatos, expondo a realidade por meio de pesquisa experimental ou *expost-facto* (GIL, 1991).

3.1.3 Classificação pelos Procedimentos Técnicos

Segundo Gil (1991), uma pesquisa pode ser classificada quanto ao procedimento técnico, sendo assim, temos: Pesquisa Bibliográfica, a qual é desenvolvida a partir de material já publicado, podendo estes ser livros ou artigos; Pesquisa Documental, desenvolvida a partir de material que não receberam avaliação; Pesquisa Experimental, onde cria-se formas de controle e de observação das reações do objeto problema.

3.1.4 Classificação do Trabalho

Esse trabalho se classifica com uma pesquisa exploratória, uma vez que por meio de levantamentos de dados, utilizando pesquisas bibliográficas, e discussões com pessoas da área, foi possível identificar e explicar as ocorrências das ações.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como já dito anteriormente, o motor de três cilindros pode sim, ter igual ou maior desempenho que um motor de quatro cilindros. Partindo disso foram montadas as Figuras 11 e 12 com dados comparativos dos motores 1.0 três e quatro cilindros.

Figura 11 – Ficha Técnica

Carro	Gol Comfortline	
Modelo	1.0	
Ano	2016	2017
Cilindros	4	3
Velocidade máxima	163 km/h	170 km/h
Aceleração 0-100 km/h	13,4 s	12,3 s
Potência máxima	76 cv (A) 72 cv (G)	82 cv (A) 75 cv (G)
Torque máximo	10,3 kgfm (A) 9,7 kgfm (G)	10,4 kgfm (A) 9,7 kgfm (G)
Peso/potência	12,4 kg/cv	12,2 kg/cv
Potência específica	76,1 cv/l	82,1 cv/l
Peso/torque	89,2 kg/kgfm	96,0 kg/kgfm
Torque específico	10,6 kgfm/l	10,4 kgfm/l
Consumo urbano (G)	11,6 km/l	12,9 km/l
Consumo rodoviário (G)	13,9 km/l	14,5 km/l
Consumo urbano (A)	7,7 km/l	8,8 km/l
Consumo rodoviário (A)	9,6 km/l	10,3 km/l
Variação do comando	-	Admissão

Fonte: Ficha Técnica Carrosnaweb (Adaptada pelo autor)

Figura 12 – Ficha Técnica

Modelo	Ano	Emissões no Escapamento					Consumo Energético (MJ/km)
		Poluentes			Gás Efeito Estufa		
		NMHC (g/km)	CO (g/km)	Nox (g/km)	Etanol	Gasolina /Diesel	
GOL	2016	0,027	0,416	0,034	0	97	1,58
	2017	0,024	0,357	0,021	0	99	1,61

Fonte: Manual do carro Gol Comfortline 2016 e 2017 (Adaptada pelo autor)

Nas fichas técnicas pode-se notar que o motor de três cilindros chega a ter uma potência que o motor de quatro cilindros, embora seja difícil usar a potência máxima, pois isso só é obtida em altas rotações, o que é difícil na cidade. Essa facilidade de se obter potência se dá pelo uso do comando de válvula na admissão, o qual melhora a performance do motor (Hoffmann, 2017).

Também se nota que o motor tem uma boa relação peso/toque e peso/potência, embora não haja diferença significativa em peso/potência entre os motores. Outro dado que se pode tirar da ficha técnica é de que o motor emite menos poluentes.

A Figura 13 apresenta um comparativo de alguns veículos onde foram feitos testes, numa parte do circuito de Interlagos, para observar qual carro realizava o percurso em menor tempo, o teste foi feito pelo ex-piloto de Fórmula Um Rubens Barrichello, para sua plataforma digital, que se chama “Acelerados” bem como a ficha técnica de cada carro utilizado no teste.

Nota-se que o Peugeot foi o mais rápido na pista, porém, isso se dá devido a sua excelente suspensão, ganhando nas curvas, se não fosse por isso, o Mobi seria o mais rápido. Na tabela também há um motor de quatro cilindros, no mesmo circuito e mesmas condições (ar-condicionado desligado), e percebe-se que ele não consegue entregar o mesmo tempo que o Peugeot ou o Mobi, mesmo sendo superior em aceleração, potência e torque, o que torna evidente que foi o peso que atrapalhou seu desempenho.

Figura 13 - Comparativo

Carro	Peugeot 208 Allure	Fiat Mobi Drive	Chevrolet Onix Effect	HB20 Comfort Plus
Motor	3 Cilindros 1.2	3 Cilindros 1.0	4 cilindros 1.4	3 Cilindros 1.0
Peso	1.073 kg	945 kg	1.042 kg	990 kg
0 a 100 km/h	12,8s	12s	10,5s	14,6s
Vel. Máx.	177 km/h	164 km/h	180 km/h	161 km/h
Potência	90 cv a 5.750 rpm	77 cv a 6.000 rpm	98 cv a 6.000 rpm	80 cv a 6.000 rpm
Torque	13 kgfm a 2.750 rpm	10,9 kgfm a 3.250 rpm	13 kgfm a 4.800 rpm	10,2 kgfm a 4.500 rpm
Tempo	1:18.874s	1:19.007s	1:19.476	1:20.721s

Fonte: Acelerados (2017). (Adaptado pelo autor)

5 CONCLUSÃO

A tendência do mundo automobilístico é a substituição dos motores de quatro cilindros pelos de três cilindros na linha 1.0, visto que geram menos atrito, são econômicos, leves, pequenos. Além disso, utilizando um sistema de comando de válvulas variável, se pode obter um rendimento melhor que seu rival de quatro cilindros de mesma capacidade cubica, pois ela permite uma curva de torque mais confortável, ou seja, com um torque mais alongado é permitido trabalhar na mesma velocidade em rotações mais baixas, diminuindo o nível de ruído e o consumo, além do ganho de eficiência energética, tornando o carro otimizado para a cidade. Por outro lado, quando o carro precisa de mais potência, o comando opta por uma abertura maior e mais prolongada da válvula, favorecendo a performance em perda da economia, pois mais ar e combustível estão entrando. Vale lembrar que o motor apresenta vibrações devido às explosões distanciadas, contudo esse incômodo pode ser reduzido com o emprego de eixo balanceado no virabrequim, e coxins maior qualidade. Também não se deve esquecer que a manutenção de tal motor de três cilindros é mais cara, pois as tecnologias utilizadas em sua configuração são maiores.

REFERÊNCIAS

BONNICK; NEWBOLD. **A Pratical Approach to Motor Vehicle Engineering and Maintenance**. 3ª. ed. Elsevier Ltd, 2011. 505 p.

CASTRO; RAHDE. **Motores automotivos: evolução, manutenção e tendência**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2014. 310 p.

COMANDO de válvulas variável. Estúdio Best Cars, 2017. Disponível em: <http://youtu.be/HCh_k74kH8I>. Acesso em: 29 set. 2018.

COSTA. **A Bíblia do Carro**, 2001-2002. 244 p. Disponível em <http://www.mecatronicaegaragem.blogspot.com>>. Acesso em: 15 ago. 2018.

GENTA; MORELLO; CAVALLINO; FILTRI. **The Motor Car: Past, Present and Future**. Springer, 2014. 673 p.

GIL, A. C., **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3ª edição, São Paulo. Editora Atlas, 1991.

DOS SANTOS. (IG, Escola de Restauração). **Motores de três cilindros: o preço da vibração no downsizing**. Disponível em: <<http://carros.ig.com.br/colunas/escola-de-restauracao/2017-08-28/motores-tres-cilindros.html>>. Acesso em: 24 mar. 2018.

SILVA, MENEZES. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4ª edição revisada e atualizada, Florianópolis. UFSC, 2005.

TILLMANN. **Motores de Combustão Interna e seus Sistemas**. Pelotas: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria; Colégio Técnico Industrial de Santa Maria; Rede e-Text Brasil, 2013. 165 p.

VAROTO. **Quais as vantagens técnicas do motor três-cilindros em relação ao de quatro?** 2015. Disponível em: <http://quatorrodas.abril.com.br/auto-servico/os-motores-de-tres-cilindros-possuem-alguma-vantagem-tecnica/>. Acesso em: 16 ago. 2018.

VTEC: O Princípio do VTEC. Disponível em: <<http://mecanicasemsegredo.wordpress.com/motores/vtec/>>. Acesso em: 29 set. 2018.